



1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1. СТАТИКА





1.1. Основные понятия и аксиомы статики

Одним из основных понятий механики является сила. Сила есть мера механического взаимодействия тел. Она является векторной величиной и характеризуется численным значением (или модулем), точкой приложения и направлением (рис. 1.1).

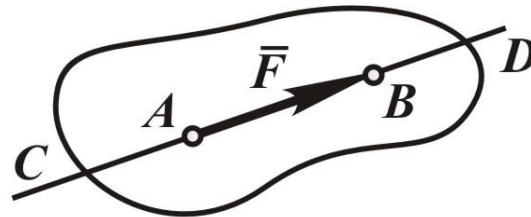


Рис. 1.1

Условные обозначения: \vec{F} – сила (вектор), F – модуль силы. Точка приложения силы и ее направление определяют линию CD действия силы.

В международной системе единиц измерения физических величин (СИ) за единицу силы принят один Ньютон [1 Н].

Аналитически силу можно задать с помощью её проекций на оси прямоугольной системы координат (рис. 1.2):

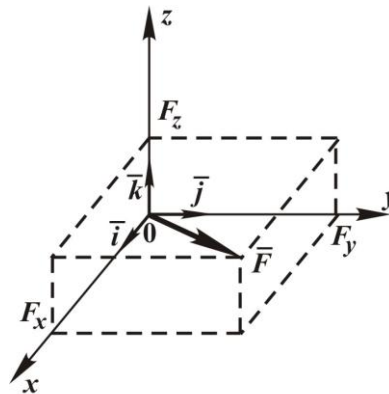


Рис. 1.2

$$\vec{F} = \vec{i}F_x + \vec{j}F_y + \vec{k}F_z$$

Здесь F_x, F_y, F_z – проекции силы на соответствующие оси; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы. Модуль F силы определяется как $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$

В теоретической механике рассматриваются абсолютно твёрдые тела. Это такие тела, в которых расстояние между двумя любыми точками не изменяется при действии сил.



В аксиомах статики формулируются законы, которым подчиняются [силы](#), действующие на одно тело или приложенные к взаимодействующим телам.

Основными задачами статики [абсолютно твёрдого тела](#) являются: задача о приведении системы [сил](#) – как данную систему сил заменить другой, чаще всего наиболее простой, ей эквивалентной; задача о равновесии – каким условиям должна удовлетворять система [сил](#), приложенная к телу, чтобы она была уравновешенной системой.

Уравновешенной системой [сил](#), или системой [сил](#), эквивалентной нулю, называется такая система [сил](#), при действии которой на [абсолютно твёрдое тело](#) оно находится в покое.

Указанные задачи и позволяют решать аксиомы статики.

Аксиома 1. Две [силы](#), приложенные к твёрдому телу, взаимно уравновешиваются в том случае, если их модули равны, а они направлены по одной прямой в противоположные стороны (рис. 1.3):

$$F_1 = F_2$$

Система [сил](#) (\vec{F}_1, \vec{F}_2) эквивалентна нулю, то есть

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2) \sim 0.$$

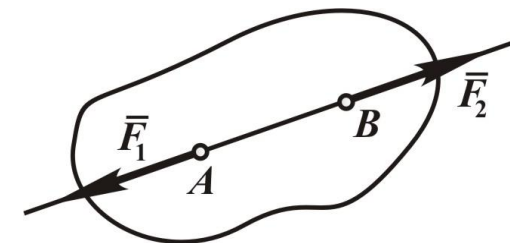


Рис. 1.3

Аксиома 2. Действие системы [сил](#) на твёрдое тело не изменится, если к ней присоединить или исключить систему взаимно уравновешивающихся [сил](#).

Следствие. Точку приложения [силы](#) можно переносить вдоль линии действия.



Докажем это. Пусть сила \vec{F}_1 приложена в точке A (рис. 1.4). Приложим в точке B по линии действия силы \vec{F}_1 две уравновешенные силы – \vec{F}_2 и \vec{F}_3 , причём сила $\vec{F}_1 = \vec{F}_3$. Имеем $\vec{F}_1 \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$

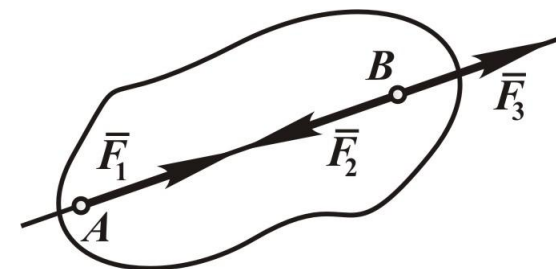


Рис. 1.4

Так как силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 образуют уравновешенную систему сил, то, согласно аксиоме 2, их можно отбросить. Остаётся сила \vec{F}_3 , равная силе \vec{F}_1 , но приложенная в точке B , то есть силу \vec{F}_1 перенесли вдоль её линии действия.

Ещё раз отмечаем, что обе аксиомы и следствие относятся только к абсолютно твёрдым телам.

Аксиома 3. Равнодействующая двух пересекающихся сил, действующих на тело, приложена в точке их пересечения и изображается диагональю параллелограмма, построенного на этих силах (рис. 1.5).

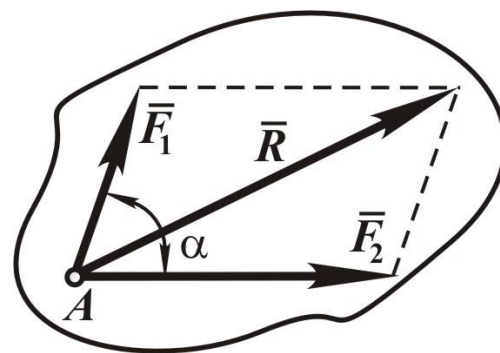


Рис. 1.5

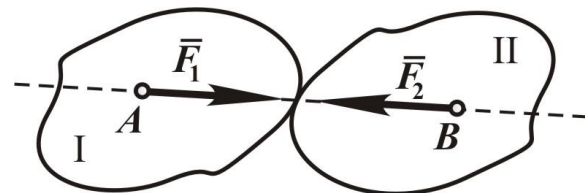
Равнодействующая \vec{R} равна геометрической сумме сил \vec{F}_1, \vec{F}_2 , то есть

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

а её модуль определяется как



Аксиома 4 (3-й закон Ньютона). Силы взаимодействия двух тел равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны (рис. 1.6). Если тело I действует на тело II с силой \vec{F}_2 , а тело II действует на тело I с силой \vec{F}_1 , то эти силы равны



по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны, то есть

$$F_1 = F_2, \quad \vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Рис. 1.6

Аксиома 5. Равновесие деформируемого тела не нарушится, если жестко связать его точки и считать тело абсолютно твёрдым.



1.2 Активные силы и реакции связей

Все тела делятся на свободные и несвободные. Тело свободное, если его перемещения в пространстве ничем не ограничены. Тело, перемещения которого ограничены другими телами, называется несвободным, а тела, ограничивающие перемещения рассматриваемого тела, являются связями. Силы, с которыми связи действуют на данное тело, называются реакциями связей.

В механике пользуются принципом освобождения от связей: *всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если действие связей заменить силами – реакциями*.

Направление реакций определяется свойством связей и действующими силами. Рассмотрим некоторые виды связей.

Гибкая нерастяжимая нить (рис. 1.7). Реакция направлена вдоль нити по направлению к точке подвеса. Допускается реакцию изображать и на самой связи.

Несомый стержень, шарнирно закреплённый по концам (рис. 1.8).

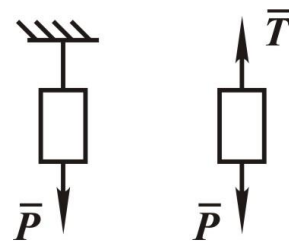


Рис. 1.7

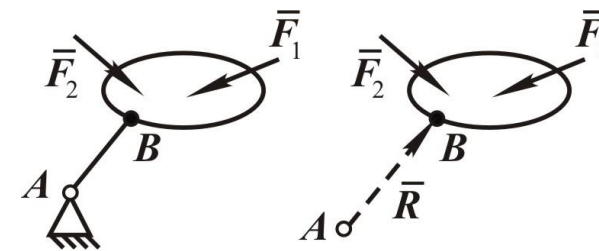


Рис. 1.8



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Согласно аксиоме 4 сила противодействия стержня ([реакция](#)) \bar{R} должна быть направлена вдоль оси стержня AB . В случае криволинейного стержня – по прямой, соединяющей концы стержня.

Если тело опирается на идеально *гладкую поверхность* (без трения), то [реакция](#) \bar{N} направлена по общей нормали к соприкасающимся поверхностям (рис. 1.9). Здесь тело может свободно скользить вдоль поверхности, но не может перемещаться в направлении вдоль нормали к поверхности.

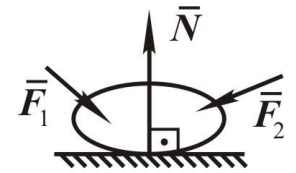


Рис. 1.9

К аналогичному виду [связи](#) относится и соприкосновение балки с идеально гладкими поверхностями (рис. 1.10).

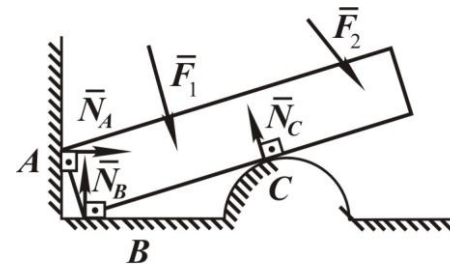


Рис. 1.10

Цилиндрическая шарнирно-подвижная опора, ее условное обозначение представлено на рис. 1.11. [Реакция](#) \bar{N} направлена по нормали к опорной поверхности. Во всех рассмотренных видах [связей](#) направление [реакций](#) заведомо известно.

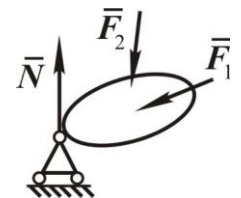


Рис. 1.11



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Цилиндрическая шарнирно-неподвижная опора (рис. 1.12) не позволяет телу совершать поступательное движение в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В общем случае направление реакции неизвестно и определяется действующими силами. Для удобства решения практических задач реакцию изображают в виде двух составляющих, направленных по перпендикулярным друг к другу осям, при этом

$$\bar{R} = \bar{X}_A + \bar{Y}_A$$

а модуль

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$$

Все силы, действующие на несвободное тело, можно разделить на две категории. Одну категорию составляют силы, не зависящие от связей, и их называют *активными силами*, другую категорию – реакциями связей. Реакции связей носят пассивный характер, они возникают, если действуют активные силы. Поэтому реакции связей ещё называют *пассивными силами*.

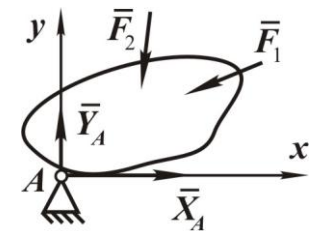


Рис. 1.12



1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1.3 Система сходящихся сил

Приведение и условия равновесия. Силы называются сходящимися, если линии действия всех сил, составляющих систему, пересекаются в одной точке.

Докажем теорему: *система сходящихся сил приводится к одной силе (равнодействующей), которая равна геометрической сумме всех этих сил и проходит через точку пересечения их линий действия.*

Пусть задана система сходящихся сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, приложенных к абсолютно твёрдому телу (рис. 1.13).

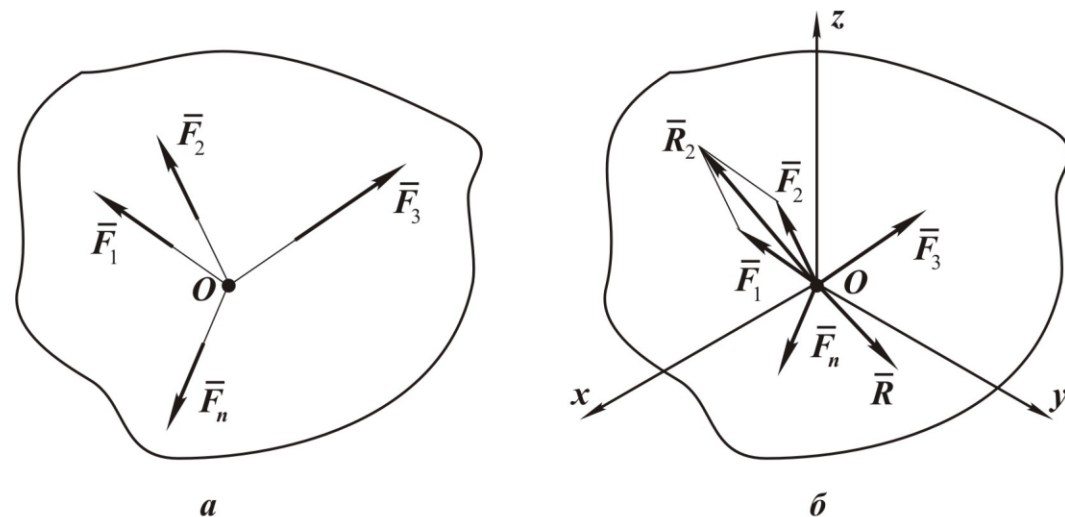


Рис. 1.13

Перенесём точки приложения всех сил по их линиям действия в точку пересечения .



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

На основании аксиомы 3 складываем силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , получаем их равнодействующую

$$\vec{R}_2 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Затем, складывая \vec{R}_2 с силой \vec{F}_3 , найдём

$$\vec{R}_2 = \vec{R}_2 + \vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Таким образом, дойдём до последней силы \vec{F}_n , получив равнодействующую \vec{R} всей системы n сил:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k$$

Этим соотношением и доказывается справедливость сформулированной теоремы.

Вместо параллелограммов можно строить силовые многоугольники.

Пусть система состоит из трёх сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 (рис. 1.14).

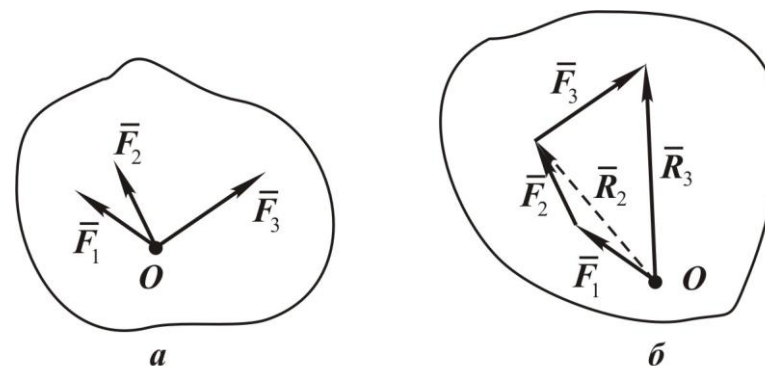


Рис. 1.14



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Изображаем вектор \bar{F}_1 . К концу вектора \bar{F}_1 прикладываем начало вектора силы \bar{F}_2 . Вектор, соединяющий точку O и конец вектора \bar{F}_2 , будет вектор \bar{R}_2 . Далее, аналогично отложим вектор силы \bar{F}_3 , получим равнодействующую \bar{R}_3 .

Полученный многоугольник может быть плоским и пространственным в зависимости от расположения сил рассматриваемой системы; он называется *силовым многоугольником*.

Наиболее общим способом определения модуля и направления равнодействующей является *аналитический способ*.

Поместив начало прямоугольной системы координат в точку O (рис. 1.13), равнодействующую \bar{R} , как и любую силу, можно представить как

$$\bar{R} = \bar{i}R_x + \bar{j}R_y + \bar{k}R_z$$

где R_x, R_y, R_z – проекции равнодействующей.

Используя выражение (1.2), получаем:

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \sum_{k=1}^n F_{kx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx}; \\ R_y &= \sum_{k=1}^n F_{ky} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}; \\ R_z &= \sum_{k=1}^n F_{kz} = F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz}. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Таким образом, проекции равнодействующей системы сходящихся сил на координатные оси равны алгебраическим суммам проекций этих сил на соответствующие оси.

Модуль равнодействующей равен

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n F_{kx}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n F_{ky}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n F_{kz}\right)^2} \quad (1.4)$$

Система сходящихся сил, как было доказано, приводится к одной силе – равнодействующей

$$\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots + \bar{F}_n$$

следовательно, для равновесия тела, находящегося под действием системы сходящихся сил, необходимо и достаточно, чтобы их равнодействующая равнялась нулю, то есть

$$\bar{R} = 0 \quad (1.5)$$

Учитывая (1.3), получаем аналитические условия равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{ky} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{kz} = F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$





ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

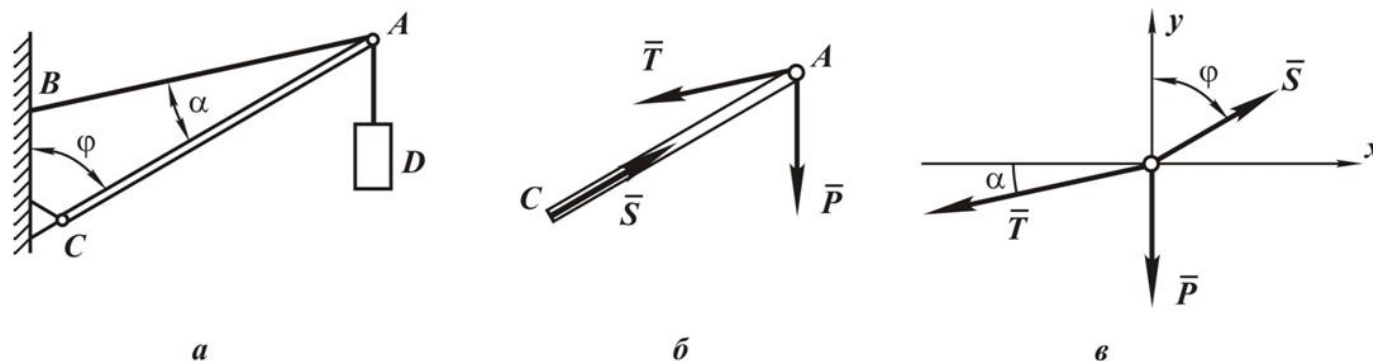
Глоссарий

то есть для равновесия сходящейся системы сил необходимо и достаточно равенство нулю алгебраических сумм проекций всех сил системы на каждую из координатных осей.

Условия равновесия (1.6) позволяют проконтролировать, находится ли в равновесии заданная система сил.

Практическое значение имеет другая возможность использования этих условий, а именно для определения реакций связей, когда активные силы известны.

Число неизвестных должно быть не больше числа уравнений. В случае равновесия системы сходящихся сил силовой многоугольник должен быть замкнутым.



Пример. На рис. 1.15 изображена часть крана, состоящая из стрелы AC , троса AB и подвешенного груза D .

Пренебрегая весом троса и стрелы, определить натяжение троса T и усилие в стреле S , если известно, что угол $\varphi = 60^\circ$, угол $\alpha = 15^\circ$, а масса груза $m = 6$ т.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Рассмотрим равновесие стрелы.

В точке A к ней приложена активная сила \bar{P} – сила тяжести груза (см. рис. 1.15, б). В той же точке к ней приложена реакция \bar{T} троса, и в точке C приложена реакция опоры \bar{S} , направленная вдоль стрелы, так как весом стрелы пренебрегаем. Начало реакции \bar{S} перенесем в точку A , получаем [сходящуюся систему сил](#).

Для определения реакций применяем вначале аналитический способ. Для этого берём систему координат и составляем уравнения равновесия

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = S \sin 60^\circ - T \cos 15^\circ = 0;$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = S \cos 60^\circ - P - T \sin 15^\circ = 0;$$

отсюда

$$S = P \frac{\cos 15^\circ}{\cos 75^\circ} = 221,54 \text{ кН};$$

$$T = P \frac{\sin 60^\circ}{\cos 75^\circ} = 199,85 \text{ кН}.$$

Применим *геометрический способ*.

Система трёх указанных сил находится в равновесии, следовательно, силовой многоугольник должен быть замкнутым.





ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Построение многоугольника следует начинать с известной силы \vec{P} (рис. 1.16).

Из её начала проводится прямая, параллельная линии действия силы \vec{T} , а из ее конца – прямая, параллельная линии действия силы \vec{S} . Точка пересечения и определяет силы \vec{S} и \vec{T} .

Для определения величины \vec{S} и \vec{T} применяем теорему синусов:

$$S = P \frac{\sin 105^\circ}{\sin 15^\circ} = \frac{mg \sin 105^\circ}{\sin 15^\circ} = 221,54 \text{ кН};$$

$$T = P \frac{\sin 60^\circ}{\sin 15^\circ} = \frac{mg \sin 60^\circ}{\sin 15^\circ} = 199,85 \text{ кН}.$$

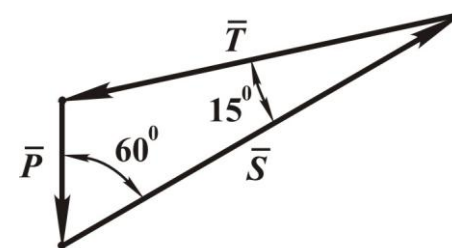


Рис. 1.16

При использовании аналитического способа для определения реакций связей может получиться знак минус у реакций, это говорит о том, что реакция в действительности направлена в противоположную сторону.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1.4 Момент силы относительно точки

Моментом силы относительно точки (центра) называется вектор, численно равный произведению модуля силы на плечо, то есть на кратчайшее расстояние от точки до линии действия силы, и направленный перпендикулярно плоскости, проходящей через выбранную точку и линию действия силы в ту сторону, откуда вращение, совершаемое силой, представляется происходящим против хода часовой стрелки.

Момент силы характеризует её вращательное действие. Момент силы относительно точки обозначается символом $\bar{M}_O(\bar{F})$, здесь O – точка, относительно которой определяется момент (рис. 1.17).

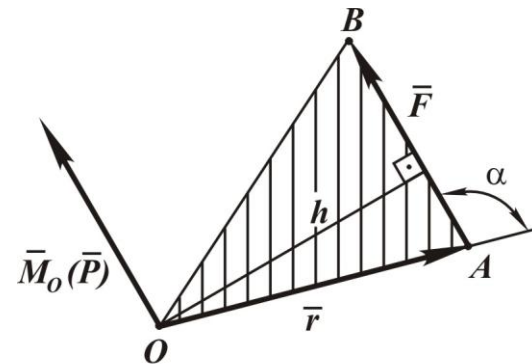


Рис. 1.17

Согласно определению модуль момента

$$M_O(\bar{F}) = F \cdot h, \quad (1.7)$$

где h – плечо.

Докажем, что если точка A приложения силы определяется радиусом-вектором \bar{r} , то справедливо соотношение

$$\bar{M}_O(\bar{F}) = \bar{r} \cdot \bar{F}, \quad (1.8)$$

то есть момент силы относительно точки определяется как векторное произведение радиуса-вектора \bar{r} на вектор силы \bar{F} . Модуль векторного произведения

$$|\bar{r} \cdot \bar{F}| = rF \sin \alpha = Fh, \text{ так как } h = r \cdot \sin \alpha.$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Следовательно, модуль указанного векторного произведения совпадает с модулем момента $\bar{M}_O(\bar{F})$. Вектор векторного произведения $\bar{r} \cdot \bar{F}$ направлен перпендикулярно плоскости, проходящей через векторы \bar{r} и \bar{F} , в ту сторону, откуда кратчайший поворот вектора \bar{r} к вектору \bar{F} представляется происходящим против хода часовой стрелки. Итак, вектор момента силы относительно точки $\bar{M}_O(\bar{F})$ совпадает по направлению с вектором векторного произведения $\bar{r} \times \bar{F}$. Таким образом, формула (1.8) полностью определяет модуль и направление момента силы \bar{F} относительно точки O .

На рис. 1.18 приведены случаи определения [плеча](#) h .

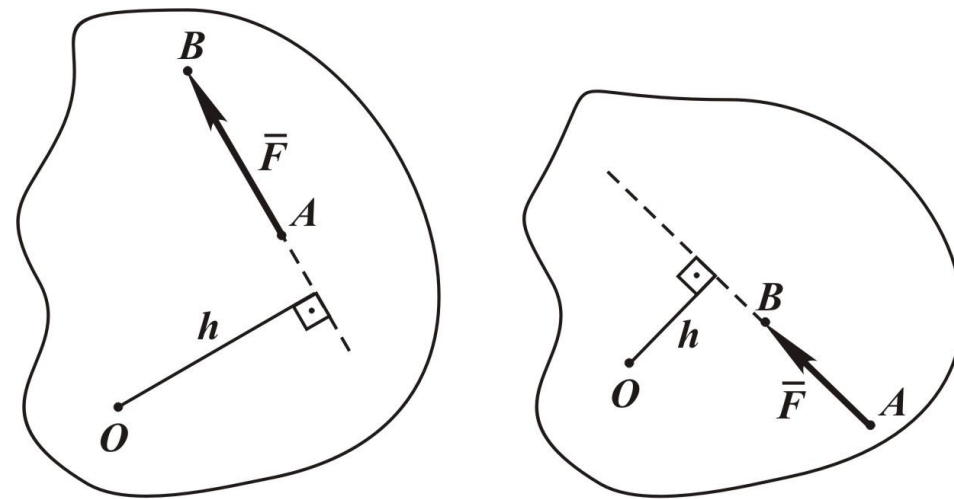


Рис. 1.18



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Для наглядности на рис. 1.19 изображены параллелепипеды, по граням которых направлены силы, показаны направления моментов сил и определены их модули:

$$M_o(\bar{F}) = a \cdot F;$$

$$M_o(\bar{F}) = a \cdot F.$$

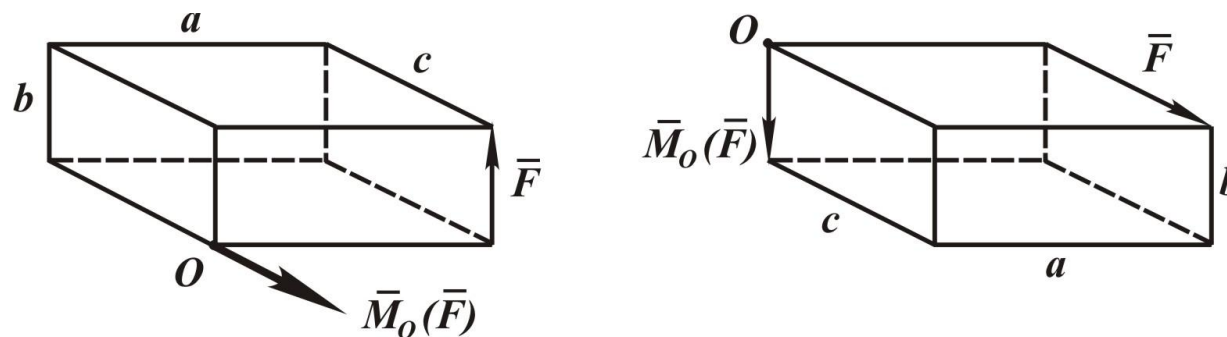


Рис. 1.19



1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1.5 Момент силы относительно оси

Если момент силы относительно точки – векторная величина, то момент силы относительно оси – алгебраическая величина.

Определим момент силы \vec{F} относительно оси z , для чего силу \vec{F} (см. рис. 1.20) спроецируем на плоскость, перпендикулярную оси, в нашем случае на плоскость Oxy .

Проекцию силы \vec{F} на плоскость Oxy обозначим \vec{F}_{xy} , она – также векторная величина.

Момент силы \vec{F} относительно оси z , с учётом формулы (1.7), определяется так:

$$M_z(\vec{F}) = M_{Oz}(\vec{F}_{xy}) = \pm F_{xy} \cdot h, \quad (1.9)$$

где h – плечо силы \vec{F}_{xy} относительно точки O , F_{xy} – модуль проекции силы \vec{F} на плоскость Oxy , знак «плюс» в формуле (1.9) берётся в том случае, когда сила \vec{F}_{xy} создает вращение вокруг оси z против хода часовой стрелки, знак «минус» – по ходу.

Формула (1.9) позволяет вычислить момент силы относительно оси. Для чего необходимо:

- 1) выбрать на оси произвольную точку и построить плоскость, перпендикулярную оси;
- 2) спроецировать на эту плоскость силу;
- 3) определить плечо h проекции силы.

Момент силы относительно оси равен произведению модуля проекции силы на плоскость на её плечо,

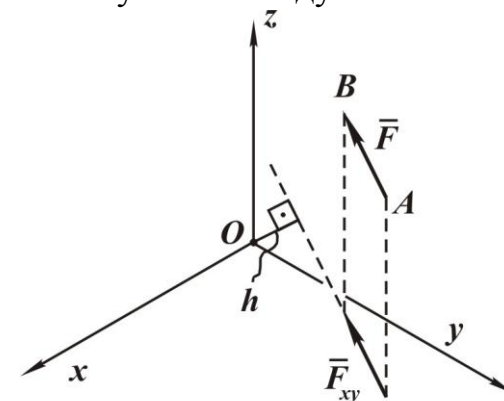


Рис. 1.20



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

взятое с соответствующим знаком.

Из формулы (1.9) следует, что момент силы относительно оси равен нулю в двух случаях:

1) когда проекция силы на плоскость, перпендикулярную оси, равна нулю, то есть когда линия действия силы и ось параллельны;

2) когда плечо h проекции силы равно нулю, то есть когда линия действия силы пересекает ось.

Оба эти случая можно объединить: *Момент силы относительно оси равен нулю тогда, когда линия действия силы и ось находятся в одной плоскости.* Определим моменты силы относительно координатных осей (рис. 1.21), данные приведены на рисунке:

$$M_x(\bar{F}) = F \sin \alpha \cdot b;$$

$$M_y(\bar{F}) = -F \cdot h;$$

$$M_z(\bar{F}) = F \cos \alpha \cdot b.$$

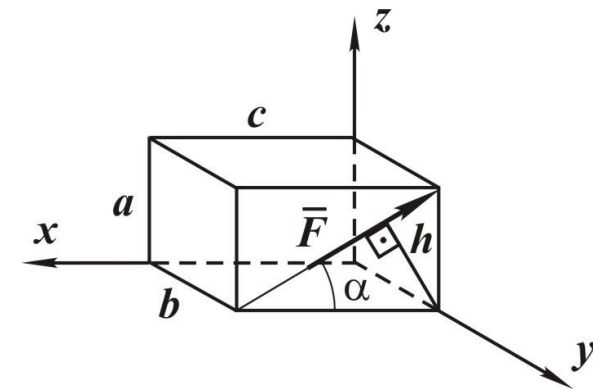


Рис. 1.21



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1.6 Момент пары сил

Парой сил называются две параллельные силы, равные по модулю, но противоположные по направлению (см. рис. 1.22).

Пара сил обозначается (\bar{F}, \bar{F}') :

$$F_1 = F_1', \quad \bar{F}_1 = -\bar{F}_1'$$

$$F_2 = F_2', \quad \bar{F}_2 = -\bar{F}_2'$$

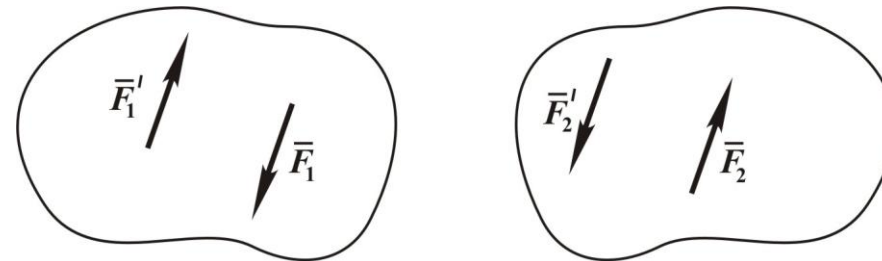


Рис. 1.22

Введём понятие момента пары сил. Вначале определим сумму моментов сил \bar{F} и \bar{F}' , составляющих пару, относительно произвольной точки O (рис. 1.23):

$$\bar{M}_O(\bar{F}) = \overline{OA} \cdot \bar{F}; \quad \bar{M}_O(\bar{F}') = \overline{OB} \cdot \bar{F}';$$

$$\bar{M}_O(\bar{F}) + \bar{M}_O(\bar{F}') = \overline{OA} \cdot \bar{F} + \overline{OB} \cdot \bar{F}',$$

так как $\bar{F}' = -\bar{F}$, то

$$\bar{M}_O(\bar{F}) + \bar{M}_O(\bar{F}') = \overline{OA} \cdot \bar{F} - \overline{OB} \cdot \bar{F} = (\overline{OA} - \overline{OB}) \cdot \bar{F};$$

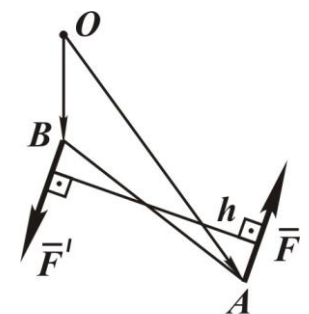


Рис. 1.23



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

учитывая, что $\overline{OA} - \overline{OB} = \overline{BA}$, получаем

$$\bar{M}_O(\bar{F}) + \bar{M}_O(\bar{F}') = \overline{BA} \cdot \bar{F}.$$

В правую часть полученного выражения не входит точка O , следовательно, сумма моментов сил, составляющих пару, не зависит от положения точки, относительно которой вычисляются моменты сил. Векторное произведение $\overline{BA} \cdot \bar{F}$ и называется моментом пары (\bar{F}, \bar{F}') . На основании этого даём определение момента пары:

Момент пары есть вектор, по модулю равный произведению модуля одной из сил на плечо пары, то есть на кратчайшее расстояние между линиями действия сил, составляющих пару, и направленный перпендикулярно плоскости пары в ту сторону, откуда вращение пары видно происходящим против хода часовой стрелки.

Итак, момент пары (\bar{F}, \bar{F}') , $\bar{M}_O(\bar{F}, \bar{F}') = \overline{BA} \cdot \bar{F}$, а его модуль $M_O(\bar{F}, \bar{F}') = F \cdot h$,

где h – плечо пары.

Для наглядности на рис. 1.24 приведены два случая направления моментов пар.

Момент пары представляет свободный вектор, линия действия его не определена. Для того чтобы пара сил составляла уравновешенную систему, необходимо и достаточно, чтобы момент пары равнялся нулю. Действительно, если момент пары равен нулю, $M = F \cdot h = 0$, то либо $F = 0$, то есть нет сил, либо плечо пары h равно нулю. Если $h = 0$, то силы действуют по одной прямой и так как они равны по модулю и направлены в противоположные стороны, то на основании аксиомы 1 они составляют уравновешенную систему сил.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

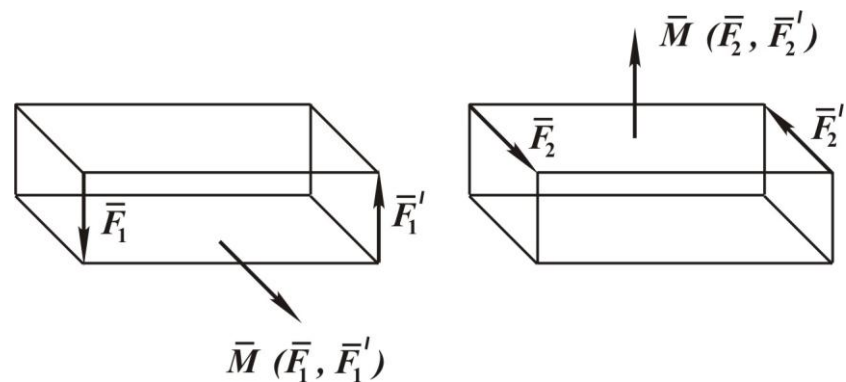


Рис. 1.24

Момент пары полностью определяет механическое действие пары на абсолютно твёрдое тело. Система пар приводится к одной паре, момент которой равен сумме моментов всех пар. Система пар эквивалентна нулю, если момент результирующей пары равен нулю.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

1.7 Приведение и равновесие пространственной системы сил

Дана произвольная пространственная система сил $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$. Сумму этих сил

$$\bar{F} = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$$

называют *главным вектором системы сил*.

Сумму моментов сил относительно какого-либо центра

$$\bar{M}_O = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k)$$

называют *главным моментом системы сил* относительно этого центра.

Докажем теорему о приведении пространственной системы сил.

Любую пространственную систему сил, в общем случае, можно привести к одной силе, приложенной в центре приведения и равной главному вектору данной системы сил, и к одной паре сил, момент которой равен главному моменту этих сил относительно центра приведения.

Пусть дана произвольная пространственная система сил $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$ (см. рис. 1.25, а). Приведём эту систему сил к центру O .





ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил

Глоссарий

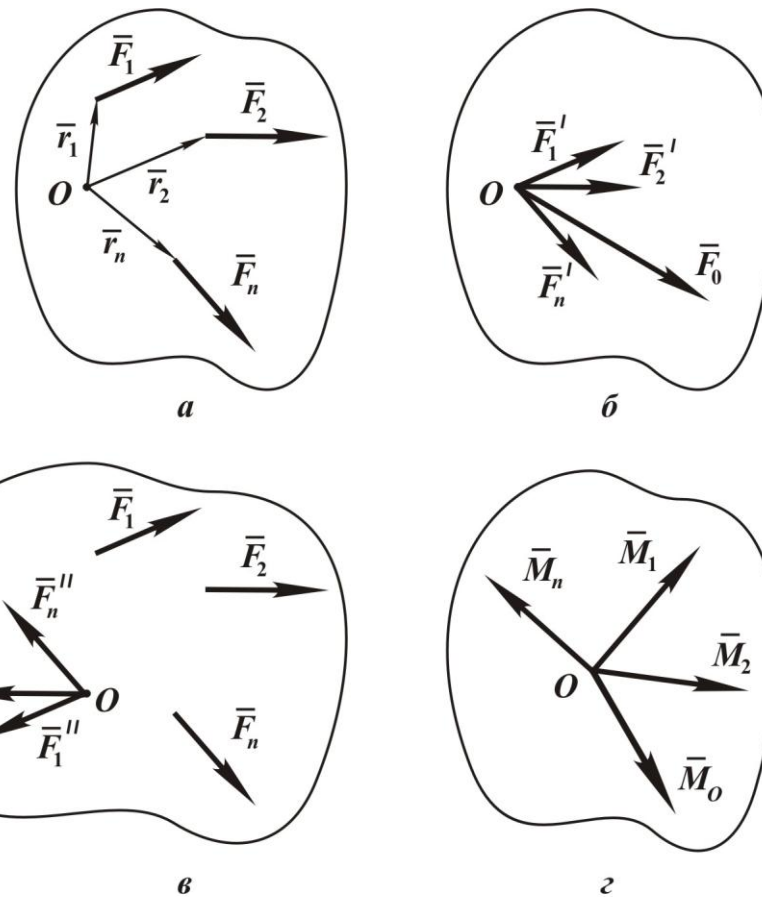


Рис. 1.25

Положения точек приложения сил определим радиусами-векторами $(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n)$.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил

Глоссарий

Переносим все силы параллельно самим себе так, чтобы их точки приложения совпали с точкой O . При этом получим сходящуюся систему (рис. 1.25, б), которая приводится к одной равнодействующей силе, равной главному вектору

$$\bar{F}_O = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots + \bar{F}_n = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$$

При параллельном переносе сил возникают ещё соответствующие пары (\bar{F}_1, \bar{F}'_1) , $(\bar{F}_2, \bar{F}'_2), \dots, (\bar{F}_n, \bar{F}'_n)$ (рис. 1.25, в).

Моменты этих пар равны моментам сил относительно центра O :

$$\bar{M}_1 = \bar{M}(\bar{F}_1, \bar{F}'_1) = \bar{r}_1 \cdot \bar{F}_1 = \bar{M}_O(\bar{F}_1);$$

$$\bar{M}_n = \bar{M}(\bar{F}_n, \bar{F}'_n) = \bar{r}_n \cdot \bar{F}_n = \bar{M}_O(\bar{F}_n).$$

Система пар приводится к одной паре, момент которой равен сумме моментов всех пар, а так как момент каждой пары равен моменту силы относительно точки приведения, то момент результирующей пары равен главному моменту (см. рис. 1.25, г)

$$\bar{M}_O = \bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \dots + \bar{M}_n = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k) = \sum_{k=1}^n \bar{r}_k \cdot \bar{F}_k.$$

Итак, доказано, что любую пространственную систему сил в общем случае можно привести к одной силе

$$\bar{F}_O = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k \quad (1.11)$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил

Глоссарий

и к одной паре с моментом

$$\bar{M}_O = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k). \quad (1.12)$$

Параллельный перенос силы, применённый здесь, например силы \bar{F}_1 (рис. 1.26), соответствует тому, что в точке приведения O прикладываются две уравновешенные силы, причём модули этих сил равны модулю \bar{F}_1 , а их линии действия параллельны ей. При этом получим систему сил $(\bar{F}_1, \bar{F}_1', \bar{F}_1'')$, эквивалентную силе \bar{F}_1' и паре сил (\bar{F}_1, \bar{F}_1'') .

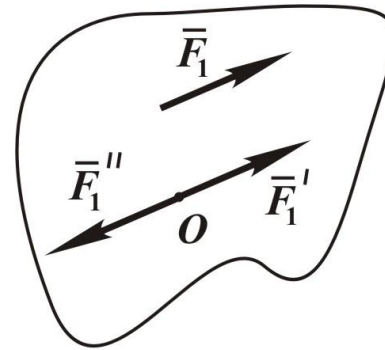


Рис. 1.26

Установим условия равновесия пространственной системы сил. Если

$$\bar{F}_O = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k = 0,$$

то сходящаяся система сил эквивалентна нулю, а если

$$\bar{M}_O = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k) = 0,$$

то система пар эквивалентна нулю.

Таким образом, для равновесия пространственной системы сил необходимо и достаточно, чтобы главный вектор и главный момент этой системы сил равнялись нулю, то есть

$$\bar{F}_O = 0, \quad \bar{M}_O = 0. \quad (1.13)$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

**1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил**

Глоссарий

В проекциях на оси прямоугольной системы координат условия равновесия принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} F_{Ox} &= \sum_{k=1}^n F_{kx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0; \\ F_{Oy} &= \sum_{k=1}^n F_{ky} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0; \\ F_{Oz} &= \sum_{k=1}^n F_{kz} = F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0; \\ M_{Ox} &= \sum_{k=1}^n M_{Ox}(\bar{F}_k) = 0; \\ M_{Oy} &= \sum_{k=1}^n M_{Oy}(\bar{F}_k) = 0; \\ M_{Oz} &= \sum_{k=1}^n M_{Oz}(\bar{F}_k) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

Частным случаем является плоская система сил. Пусть все силы расположены в плоскости xOy (рис. 1.27). Из трёх первых уравнений равновесия (1.14) пространственной системы сил для плоской системы останутся уравнения

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{ky} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0. \end{aligned} \quad (1.15)$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил

Глоссарий

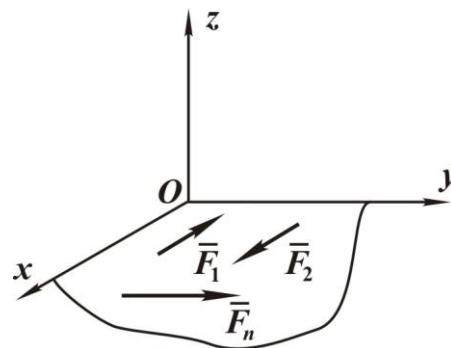


Рис. 1.27

Третье уравнение (1.14) будет тождеством. Из трёх последних уравнений остаётся только уравнение

$$\sum_{k=1}^n M_{Oz}(\bar{F}_k) = M_{Oz}(\bar{F}_1) + M_{Oz}(\bar{F}_2) + \dots + M_{Oz}(\bar{F}_n) = 0. \quad (1.16)$$

Следовательно, при рассмотрении плоской системы сил имеется возможность найти три неизвестных.

Пример. На балку, изображённую на рис. 1.28, действует сосредоточенная сила $F = 2$ кН, равномерно распределённая нагрузка интенсивностью $q = 0,5$ кН/м и пара сил с моментом $M = 4$ кН·м. Угол $\alpha = 30^\circ$, $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 5$ м.

Требуется определить реакции опор.

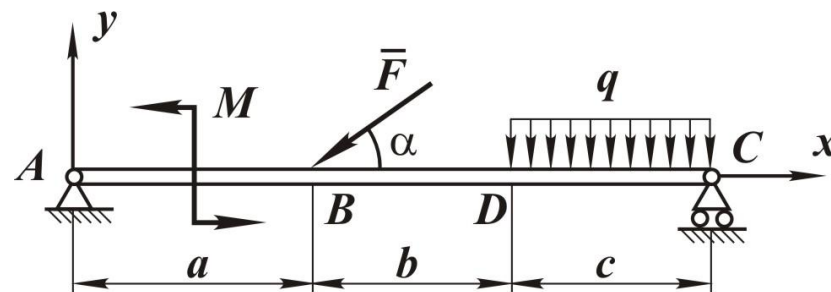


Рис. 1.28



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Решение. Распределённую нагрузку заменяем равнодействующей $Q = q \cdot c$, приложенной в середине отрезка DC . Освобождаем балку от связей, заменяя их действие реакциями $\bar{R}_C, \bar{X}_A, \bar{Y}_A$.

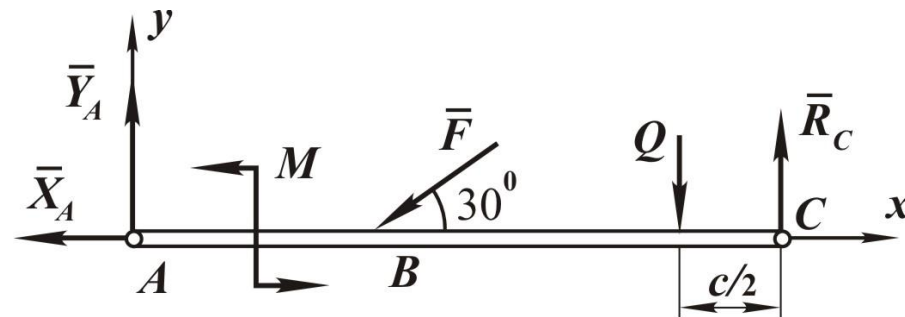


Рис. 1.29

Составляем уравнения равновесия для плоской системы сил:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = -X_A - F \cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = Y_A - F \sin 30^\circ - Q + R_C = 0;$$

$$\sum_{k=1}^n M_{Az}(\bar{F}_k) = M - F \cdot a \cdot \sin 30^\circ - Q(a + b + \frac{c}{2}) + R_C(a + b + c) = 0.$$

Подставляем числовые значения в уравнения равновесия:

$$X_A = -F \cos 30^\circ = -\sqrt{3} \text{ кН};$$



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

**1.7. Приведение и равновесие
пространственной системы сил**

Глоссарий

$$R_C = \frac{F \cdot a \cdot \sin 30^\circ + Q(a + b + \frac{c}{2}) - M}{a + b + c} = 1,675 \text{ кН};$$

$$Y_A = F \sin 30^\circ + Q - R_C = 1,825 \text{ кН}.$$

Реакция X_A получилась со знаком минус, это говорит о том, что в действительности она направлена в противоположную сторону.





ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

ГЛОССАРИЙ



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Абсолютно твёрдое тело - тело, в котором расстояние между двумя любыми точками не изменяется при действии сил.

Балка - стержень, работающий на изгиб.

Вал - стержень, работающий на кручение.

Ведомое звено - подвижное звено, воспринимающее движение от ведущего.

Ведущее звено - подвижное звено, движение которому сообщается приложением внешних сил.

Вектор угловой скорости твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси - вектор, модуль которого равен абсолютному значению производной угла поворота тела по времени, направленный по оси вращения в ту сторону, откуда вращение тела видно происходящим против хода часовой стрелки.

Взаимозаменяемость - свойство деталей и узлов машин, обеспечивающее возможность их использования при сборке без дополнительной обработки при сохранении технических требований, предъявляемых к работе данного узла.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Внешние силы - нагрузки, действующие на тело при его взаимодействии с другими телами.

Внутренние силы - силы взаимодействия между частями отдельного тела.

Вращательное движение тела вокруг оси - такое движение, при котором некоторая прямая, принадлежащая телу, - ось вращения, остаётся неподвижной, а все точки тела движутся по окружностям с центрами в основаниях перпендикуляров, опущенных из этих точек на ось вращения.

Выносливость - способность материала сопротивляться переменным силовым воздействиям длительное время.

Деформация - геометрическое искажение в окрестности материальной точки.

Жесткость - способность тела сопротивляться изменению своих размеров и формы под воздействием внешних нагрузок.

Закон Гука - деформации материала элемента в каждой точке (в определенных пределах) прямо пропорциональны напряжениям в этой же точке.

Изотропия - независимость свойств материала от направления.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Кручение - вид нагружения, когда из шести внутренних силовых факторов в поперечном сечении стержня возникает только один - крутящий момент.

Массив - тело, имеющее размеры, соизмеримые в трех направлениях.

Материальная система - совокупность материальных точек, движения которых взаимосвязаны.

Машина - это один или несколько связанных между собой механизмов, предназначенных или для преобразования энергии одного вида в энергию другого или для выполнения полезной механической работы (машины-орудия).

Мгновенный центр скоростей - точка плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю.

Механизм - система подвижно связанных между собой тел, совершающих под действием приложенных к ним сил определенные заранее заданные движения.

Момент инерции материальной системы относительно оси - сумма моментов инерции всех точек системы относительно той же оси.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Момент пары - вектор, по модулю равный произведению модуля одной из сил на плечо пары, то есть на кратчайшее расстояние между линиями действия сил, составляющих пару, и направленный перпендикулярно плоскости пары в ту сторону, откуда вращение пары видно происходящим против хода часовой стрелки.

Момент силы относительно точки - вектор, численно равный произведению модуля силы на плечо, направленный перпендикулярно плоскости, проходящей через выбранную точку и линию действия силы в ту сторону, откуда вращение, совершаемое силой, представляется происходящим против хода часовой стрелки.

Напряжение - это количественная мера интенсивности распределения внутренних сил по сечению, определяющая взаимодействие материальных частиц тела.

Однородность - означает, что тело состоит из материала одной природы.

Пара сил - система двух параллельных сил, равных по модулю, но противоположных по направлению, не лежащих на одной прямой.

Передачи вращательного движения - механизм для преобразования вращающих моментов и угловых скоростей.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Перемещение - изменение положения в пространстве сечения или всего элемента конструкции. Перемещения подразделяются на линейные и угловые.

Пластина (оболочка) - тело, имеющее размеры в двух направлениях несоизмеримо большие, чем в третьем, и ограничивается двумя плоскими (криволинейными) поверхностями.

Пластичность - способность тела сохранять значительные деформации (остаточные) после разгрузки.

Плечо - кратчайшее расстояние от точки до линии действия силы.

Плоский поперечный изгиб - вид нагружения, когда под действием внешних нагрузок из шести внутренних силовых факторов в поперечном сечении стержня могут возникать только два - изгибающий момент и поперечная сила.

Плоскопараллельное движение твёрдого тела - движение тела, все точки которого перемещаются в плоскости, параллельной некоторой неподвижной плоскости.

Ползучесть - изменение во времени деформаций и напряжений при действии на тело постоянной внешней нагрузки.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Поступательное движение тела - такое движение твёрдого тела, при котором любая прямая, проведённая в теле, остаётся во всё время движения параллельной своему первоначальному положению.

Предел текучести - напряжение, при котором в материале возникают значительные деформации без заметного роста напряжений.

Предел упругости - наибольшее напряжение, до которого в материале не образуются остаточные деформации.

Принцип независимости действия сил - результат воздействия системы нагрузок равен сумме результатов воздействия каждой нагрузки в отдельности, то есть производимый эффект не зависит от порядка приложения внешних сил.

Прочность - способность тела сопротивляться внешним нагрузкам.

Растяжением (сжатием) - такой вид нагружения, при котором внешние силы создают в поперечном (перпендикулярном оси) сечении стержня только один внутренний силовой фактор - продольную растягивающую (сжимающую) силу N_x .

Реакции связей - силы, с которыми связи действуют на данное тело.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия и аксиомы статики

1.2. Активные силы и реакции связей

1.3. Система сходящихся сил

1.4. Момент силы относительно точки

1.5. Момент силы относительно оси

1.6. Момент пары сил

1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Связи - тела, ограничивающие перемещения рассматриваемого объекта.

Сдвиг - вид нагружения, при котором в поперечном сечении стержня возникает только поперечная (перерезывающая) сила, а остальные силовые факторы равны нулю.

Сила - мера механического взаимодействия тел.

Система сходящихся сил - система сил, линии действия которых пересекаются в одной точке.

Стандартизация - установление обязательных норм, которым должны соответствовать типы, сорта, параметры качественные характеристики, методы испытаний, правила маркировки, упаковки, хранения продукции.

Стержень - тело, имеющее поперечные размеры несоизмеримо малые с его длиной.

Траектория точки - непрерывная кривая, которую описывает точка при своем движении.

Упругость - способность тела восстанавливать первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки.



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. СТАТИКА

- 1.1. Основные понятия и аксиомы статики
- 1.2. Активные силы и реакции связей
- 1.3. Система сходящихся сил
- 1.4. Момент силы относительно точки
- 1.5. Момент силы относительно оси
- 1.6. Момент пары сил
- 1.7. Приведение и равновесие пространственной системы сил

Глоссарий

Устойчивость - способность тела под нагрузкой сохранять первоначальную форму устойчивого равновесия.

Хрупкость - способность тела разрушаться без образования заметных остаточных деформаций.

Число степеней свободы тела - число независимых параметров, задание которых однозначно определяет положение тела в пространстве.

Эпюра внутренних сил - график, показывающий характер изменения внутренних сил по длине стержня.



Возврат
из справки

КЛАВИАТУРА

Home

Нажатие клавиши «**Home**» на клавиатуре вызывает переход к **титульной странице** документа.
С титульной страницы можно осуществить переход к оглавлению (в локальной версии курса).

PgUp



Нажатие клавиши «**PgUp**» («**PageUp**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

PgDn



Нажатие клавиши «**PgDn**» («**PageDown**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

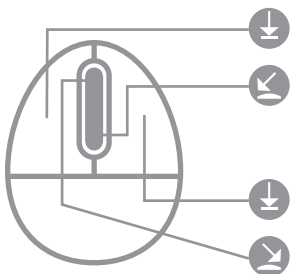
Alt

+

F4

Нажатие комбинации клавиш «**Alt**»+«**F4**» на клавиатуре вызывает **завершение работы программы просмотра** документа (в локальной версии курса).

МАНИПУЛЯТОР «МЫШЬ»



Нажатие **левой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**от себя**» вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

Нажатие **правой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**к себе**» вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПО

- 1.1. Основные понятия
- 1.2. Особенности промышленного ПО и кризис его разработки
- 1.3. Сложность разработки ПО
- 1.4. Характеристики программного продукта
- 1.5. Жизненный цикл программного продукта
- 1.6. Процессы разработки
- 1.7. Модели разработки
- 1.8. Методологии разработки
 - 1.8.1. Единая система программной документации
 - 1.8.2. Microsoft Solutions Framework
 - 1.8.3. Экстремальное программирование
 - 1.8.4. Rational Unified Process
- 1.9. Выбор и адаптация методологии разработки

Глоссарий

Панель управления – содержит перечень разделов, а также кнопки навигации, управления программой просмотра и вызова функции поиска по тексту.

Просматриваемый в данный момент **раздел**.

Доступные разделы.

В зависимости от текущего активного раздела в перечне могут присутствовать подразделы этого раздела.



Кнопка переключения между полноэкранным и оконным **режимом просмотра**.

Кнопки **последовательного перехода** к предыдущей и следующей страницам.

Кнопка **возврата к предыдущему виду**. Используйте её для обратного перехода из глоссария.

Кнопка вызова функции **поиска по тексту**.

Кнопка перехода к **справочной (этой) странице**.

Кнопка **завершения работы**.